บทความวิจัย

การศึกษาการใช้คลอรีนฆ่าเชื้อโรคและคุณลักษณะของน้ำทิ้งของสะพานปลา : ตลาดปลาสหกรณ์ประมงแม่กลอง จังหวัดสมุทรสงคราม

นาฏอนงค์ เจริญสันติสุข* เกษม จันทร์แก้ว, อรอนงค์ ผิวนิล และ ธนิศร์ ปัทมพิฑูร

บทคัดย่อ

การค้าขายสัตว์น้ำบนสะพานปลาส่งผลให้เกิดน้ำเสียปริมาณมากในแต่ละวัน การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคและวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียจากสะพานปลา “ตลาดปลาสหกรณ์ประมงแม่กลอง” จังหวัดสมุทรสงคราม โดยเก็บตัวอย่างน้ำด้วยวิธีแบบจ้วง (grab sampling) จาก 2 แหล่ง ในช่วงเดือนกันยายน-ตุลาคม พ.ศ. 2558 คือ 1) น้ำใช้จากบ่อพักน้ำ และ 2) น้ำเสียจากรางระบายน้ำทิ้งก่อนและหลังฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนในสะพานปลา ผลการศึกษาพบว่าน้ำที่ใช้มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภคที่กำหนดให้ใช้ในสะพานปลาและพบการปนเปื้อน Total Coliform และ Fecal Coliform สำหรับการฆ่าเชื้อโรคในสะพานปลาจะใช้สารละลายคลอรีนประมาณ 13 m^3/วัน และมีความเข้มข้นคลอรีนอิสระเฉลี่ย 4.43 mg/L ซึ่งต่ำกว่าค่าแนะนำของกระทรวงสาธารณสุข (100 mg/L) เมื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะน้ำเสียก่อนและหลังฆ่าเชื้อโรคพบว่ามีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง คุณภาพน้ำเสียก่อนและหลังฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนมีค่า pH, EC, salinity, COD, BOD, TKN และ TDS แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และค่า BOD และ TKN ในน้ำเสียลดลงหลังจากฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนรวมทั้งไม่พบคลอรีนคงเหลืออยู่ในน้ำเสีย

คำสำคัญ: สะพานปลา ฆ่าเชื้อ คลอรีน น้ำเสีย

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน, e-mail: nardanongc@hotmail.com

The Study on Using Chlorine Sanitization and Wastewater Characteristics of Fish Landing Site: Maeklong Fishery Cooperative Fish Market at Samut Songkhram Province

Nardanong Charoensuntisuk*, Kasem Chunkao, Onanong Philnil, and Thanit Pattamapitoon

ABSTRACT

Everyday enormous amount of wastewater was discharged from fish landing site. The aim of this study was to investigate chlorine sanitization and wastewater characteristics at Maeklong Fishery Cooperative Fish Market at Samut Songkhram province. Samples were collected by grab sampling from 2 sources during September to October 2015: 1) water samples from pond and 2) wastewater samples from wastewater collection point of open channel sewer before and after chlorine sanitization at fish landing site. The results showed that the pond water quality in the fish landing site was lower than drinking water standard and contaminated with Total Coliform and Fecal Coliform. Quantity of chlorine solution was about 13 m^3/day and the chlorine concentration for sanitizer was approximately 4.43 mg/L which lower than the recommendation from Ministry of Public Health (100 mg/L). The wastewater quality before and after sanitizing were lower than the standards for effluent drainage control. Including, the values of pH, EC, Salinity, COD, BOD, TKN and TDS of wastewater samples before and after chlorine sanitization were significantly different ($p < 0.05$). Moreover, the values of BOD and TKN decreased after chlorine sanitization and the residual chlorine was not detected in wastewater.

Keywords: fish landing site, sanitizing, chlorine, wastewater

Department of Environmental Science, Faculty of Environment, Kasetsart University, Bangkok, 10900
*Corresponding author, e-mail: nardanongc@hotmail.com

บทนำ

สถานประกอบการสะพานปลามีการใช้น้ำในปริมาณมากในการขนถ่ายสัตว์น้ำ การล้างทำความสะอาดสัตว์น้ำ การคัดแยกสัตว์น้ำ การซื้อขายสัตว์น้ำ และการล้างทำความสะอาดสะพานปลา ส่งผลให้เกิดน้ำเสียจำนวนมากในแต่ละวัน เนื่องจากมีชิ้นส่วนและเลือดของสัตว์ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียจำนวนมาก ทำให้มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนสูงซึ่งส่งผลทำให้ค่า BOD ในน้ำเสียสูง [1-3] จากการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ พบว่า คุณภาพน้ำเสียจากสะพานปลา แพปลา และท่าเทียบเรือประมง มีค่า BOD อยู่ในช่วง 46-12,780 mg/L ค่า SS อยู่ในช่วง 60-5,875 mg/L ค่า TKN อยู่ในช่วง 0-1,059 mg/L น้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 3-1,779 mg/L [4] นอกจากนี้สะพานปลาเป็นแหล่งแพร่กระจายเชื้อโรคที่มากับอาหารและน้ำที่สำคัญ เช่น *Escherichia coli, Vibrio* spp. และ *Salmonella* spp. เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคอุจจาระร่วง โรคบิด และไข้ไทฟอยด์ [5-7] โดยกรมประมงกำหนดให้สถานประกอบการดังกล่าวฆ่าเชื้อโรคหลังจากล้างทำความสะอาดทุกครั้ง [8] และกระทรวงสาธารณสุขแนะนำให้ใช้คลอรีนที่ความเข้มข้น 100 mg/L [9] ทั้งนี้หากไม่มีการจัดการที่ดีจะส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำที่ส่งผลกระทบต่อประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณใกล้เคียง โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหากลิ่นเน่าเหม็นและปัญหาด้านสุขภาพอนามัยจากน้ำเสีย [1]

สารเคมีที่นำมาใช้ในการฆ่าเชื้อโรคมีหลายประเภท เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรท์ แอลกอฮอล์ ฟอร์มัลดีไฮด์ กลูตารัลดีไฮด์ คลอรีนและสารประกอบคลอรีน แต่โดยส่วนใหญ่ผู้ประกอบการจะนิยมใช้คลอรีน เนื่องจากมีข้อดี คือ ราคาถูก ใช้งานง่าย และมีประสิทธิภาพดี สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้หลายชนิด ได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์ รา ไวรัส สาหร่าย โปรโตซัว [10] แต่ยังมีข้อเสีย คือ กัดกร่อนวัสดุ เป็นอันตรายต่อสุขภาพ เช่น เกิดการระคายเคืองต่อตา ผิวหนัง ระบบทางเดินหายใจ และส่งผลต่อระบบประสาท [11] อย่างไรก็ตาม คลอรีนเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรง แต่ก็สามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในน้ำได้ ส่งผลให้ค่า BOD และ COD ในน้ำลดลง คลอรีนจึงถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยเช่นกัน [12, 13] นอกจากนี้ การใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคทำให้มีคลอรีนบางส่วนเหลือตกค้างอยู่ในน้ำเสีย คลอรีนที่ตกค้างในน้ำเสียจะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ [14] โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อแบคทีเรียที่มีความสำคัญต่อกระบวนการย่อยสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย เช่น *Acetobater* sp, *Nitrobacter* sp, *Nitrosomonas* sp, *Flavobacterium* sp, *Pseudomanas* sp และ *Aeromanas* sp [15] ทำให้ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียลดลง [16] จากการศึกษาของ Chenypanich [17] พบว่า เมื่อน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารคลอรีน 20 mg/L คลอรีนมีผลอย่างมากต่อการบำบัด TKN เมื่อบำบัดที่ HRT (Hydraulic Retention Time) 1 วัน โดยมีประสิทธิภาพการบำบัด TKN ของระบบ SBR (Sequencing Batch Reactor) ต่ำที่สุด คือ 33.37% เนื่องจากคลอรีนไปทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายไนโตรเจนได้ เช่น *Nitrobacter* sp และ *Nitrosomonas* sp โดยคลอรีนเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้ OCl^- และ HOCl เรียกว่า Chlorine releasing agent (CRA) ซึ่งจะไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้คุณสมบัติในการควบคุมสารเข้าออกเปลี่ยนไป [18] รวมทั้งคลอรีนจะไปทำลายเอนไซม์ ทำให้เซลล์ไม่สามารถเผาผลาญกลูโคสได้ และจะตายในที่สุด [19-21] อีกทั้งคลอรีนยังเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่อาศัยอยู่ในน้ำด้วย [22, 23]

สะพานปลา “ตลาดปลาสหกรณ์ประมงแม่กลอง” จังหวัดสมุทรสงคราม ประสบปัญหาเรื่องน้ำเน่าเสีย จึงได้ขอรับบริการวิชาการจากโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมา

จากพระราชดำริ เพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับการจัดการน้ำเสียในบริเวณพื้นที่ดังกล่าว ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อโรค และคุณลักษณะของน้ำเสียก่อนและหลังการฆ่าเชื้อโรคด้วยการใช้คลอรีนบนสะพานปลา “ตลาดปลาสหกรณ์ประมงแม่กลอง” จังหวัดสมุทรสงคราม ในสภาวะการทำงานจริง ซึ่งจะเป็นแนวทางในการศึกษาการใช้คลอรีนและการจัดการน้ำเสียจากสะพานปลาที่เหมาะสมต่อไป

อุปกรณ์และวิธีทดลอง

พื้นที่ศึกษา

สะพานปลา “ตลาดปลาสหกรณ์ประมงแม่กลอง” ตำบลแหลมใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสงคราม มีขนาดพื้นที่ 10,000 m^2

การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและน้ำเสีย

เก็บตัวอย่างน้ำ ช่วงเดือนกันยายน-ตุลาคม 2558 เก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในตลาดปลาสหกรณ์ประมงแม่กลองที่บ่อพักน้ำดิบ (N = 9) และเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากสะพานปลาตรงรางระบายน้ำเสียที่เป็นจุดรวมน้ำเสีย เก็บตัวอย่างน้ำเสีย 2 ช่วงเวลา คือ ก่อนการล้างพื้นตลาดด้วยสารละลายคลอรีน (SW1, N = 9) และหลังจากการล้างพื้นตลาดด้วยสารละลายคลอรีน (SW2, N = 9) ด้วยวิธีแบบจ้วง (grab sampling) ตามคู่มือการบังคับใช้กฎหมายของเจ้าพนักงานควบคุมมลพิษ [24] เก็บตัวอย่างน้ำและน้ำเสียในขวดเก็บตัวอย่าง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แล้วนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ตามวิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียใน Standard Methods for Examination of Water and Wastewater ของ APHA AWWA และ WCPF [25] ดังแสดงในตารางที่ 1

การเก็บตัวอย่างสารละลายคลอรีน (N = 9) เก็บหลังจากที่สารละลายคลอรีนไหลผ่านจากปลายสายยางแรงดันสูง 3 นาที แล้วนำไปหาปริมาณความเข้มข้นของคลอรีนอิสระคงเหลือ (free residual chlorine) คลอรีนรวมพร้อมใช้คงเหลือ (combined residual chlorine) คลอรีนรวมคงเหลือ (Total residual chlorine) ทันที วิธีวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ดัชนีชี้วัดและวิธีการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย [25]

ดัชนีชี้วัด	หน่วย	วิธีวิเคราะห์
Chemical oxygen demand (COD)	mg/L	Closed reflux
Biochemical oxygen demand (BOD)	mg/L	5-day BOD test
Temperature	°C	Thermometer
DO	mg/L	DO meter
pH		pH meter
Electrical conductivity (EC)	mS/cm	Electrical conductivity meter
Total Kjedahl nitrogen (TKN)	mg/L	Kjeldahl Method
Salinity	g/L	Salinity Meter
Oil and grease	mg/L	Partition-gravimetric method
Suspended solid (SS), Total dissolved solid (TDS), Total suspended solid (TSS)	mg/L	Dried at 103-105°C
Turbidity	NTU	Nephelometric Method
Free residual chlorine, Combined residual chlorine, Total residual chlorine*	mg/L	*N,N* Diethyl-*p*-phenylenediamine (DPD) ferrous titrimetric method
Total Coliform, Fecal Coliform	MPN/100 mL	The most probable number method (MPN)
Aerobic bacteria (AB), Anaerobic bacteria (ANB)	cfu/mL	Dilution Plate Count

*คำนวณค่า Total residual chlorine = Free residual chlorine + Combined residual chlorine

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ใช้โปรแกรมวิเคราะห์สถิติสำเร็จรูป วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้ Non-Parametric: The Wilcoxon Matched Pairs Signed-Ranks Test ที่ระดับนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. คุณภาพน้ำที่ใช้ในสะพานปลา

น้ำที่ใช้ในกิจกรรมของสะพานปลา “ตลาดปลาสหกรณ์ประมงแม่กลอง” โดยการสูบน้ำจากคลองมอบลัดมาพักไว้ในบ่อพักน้ำ ก่อนที่จะนำไปใช้ในการล้างทำความสะอาดสัตว์น้ำ ละลายน้ำแข็ง ล้างรถบรรทุกสัตว์ ล้างทำความสะอาดภาชนะและพื้นสะพานปลา ทั้งนี้กรมประมงได้กำหนดให้น้ำที่ใช้ในสะพานปลาต้องเป็นน้ำที่สะอาดมีค่าตามมาตรฐานของคุณภาพน้ำบริโภค [8] ผลการวิเคราะห์น้ำ พบว่า ค่า TS เท่ากับ 13,429.46 mg/L และ Total Coliform เท่ากับ 4.20 $\log_{10}$MPN/100 mL ซึ่งสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภค ส่วนค่า BOD, COD, TDS และ TKN เท่ากับ 1.22, 148.84, 13,393.30 และ 2.05 mg/L ตามลำดับ นอกจากนี้ พบว่า น้ำที่ใช้เป็นน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็มเฉลี่ยประมาณ 12.03 g/L ทำให้มีค่า EC และค่า TDS สูง รวมทั้งยังพบเชื้อ Total Coliform และ Fecal Coliform (แสดงในตารางที่ 2) ทั้งนี้น้ำที่ใช้ในสะพานปลาไม่ได้ตามค่ามาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นเมื่อสัมผัสกับสัตว์น้ำจะทำให้คุณภาพของสัตว์น้ำ

ลดลง [4]

การพบเชื้อ Total Coliform และ Fecal Coliform สอดคล้องกับการศึกษาของกนกพรรณ [26] ที่พบเชื้อ Total Coliform, Fecal Coliform และ E. coli ในตัวอย่างน้ำใช้ที่สะพานปลากรุงเทพและสะพานปลาสมุทรปราการ เท่ากับ 4.45, 4.13 และ 2.77 $\log_{10}$MPN/100 mL และ 3.84, 3.25 และ 2.09 $\log_{10}$MPN/100 mL ตามลำดับ การปนเปื้อนเชื้อโรคในน้ำส่งผลให้มีการแพร่ระบาดของโรคติดต่อทางอาหารและน้ำไปยังผู้บริโภคผ่านทางสัตว์น้ำได้ [7] ดังนั้น น้ำที่ใช้ในสะพานปลาต้องได้รับการปรับปรุงคุณภาพตามมาตรฐานน้ำบริโภคก่อนนำไปใช้งาน

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำที่ใช้ในสะพานปลา

ดัชนี	ค่ามาตรฐาน[1]	ค่าเฉลี่ย ± SD
pH	6.5-8.5	7.49 ± 0.04
Temp (°C)		31.33 ± 0.65
DO (mg/L)		5.16 ± 0.18
EC (mS/cm)		20.08 ± 1.48
Salinity (g/L)		12.03 ± 1.04
COD (mg/L)		148.84 ± 45.69
BOD (mg/L)		1.22 ± 0.40
TDS (mg/L)		13,393.30 ± 1,076.10
SS (mg/L)		36.12 ± 12.36
TS (mg/L)	500	13,429.46 ± 1,080.38
Turbidity (NTU)		2.45 ± 0.24
Oil and grease (mg/L)		nd
TKN (mg/L)		2.05 ± 0.74
Total Coliform ($\log_{10}$MPN/100 mL)	<0.34	4.23 ± 0.13
Fecal Coliform ($\log_{10}$MPN/100 mL)		3.54 ± 0.29
Aerobic bacteria ($\log_{10}$cfu/1 mL)		5.84 ± 0.94
Anaerobic bacteria ($\log_{10}$cfu/1 mL)		1.49 ± 0.41

[1]ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภคของกระทรวงสาธารณสุข [27]

2. การใช้คลอรีนฆ่าเชื้อโรคในสะพานปลา

หลังจากปิดทำการขายในแต่ละวัน จะมีเจ้าหน้าที่ของสะพานปลาเป็นผู้ล้างทำความสะอาดทั้งหมด โดยจะสูบน้ำจากคลองมอบลัดมาพักไว้ในบ่อพักน้ำ แล้วจะถูกสูบขึ้นเพื่อใช้ในการล้างทำความสะอาด โดยใช้สายยางหัวฉีดแรงดันสูงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 cm ล้างกระบะที่ใส่สัตว์น้ำและน้ำแข็ง และใช้สายยางหัวฉีดแรงดันสูงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 cm ล้างทำความสะอาดพื้นของอาคารสะพานปลาขนาด 10,000 m^2 ใช้เวลาล้างประมาณ 3-4 ชั่วโมง ซึ่งจะไม่มีการใช้ผงซักฟอกในการล้างทำความสะอาดร่วมด้วย จากนั้นจะใช้สารละลายคลอรีน ซึ่งถูกผสมในถังขนาด 1,000 L โดยใช้คลอรีนผงแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ 65% ประมาณ 2 kg ในน้ำ 800 L และสารละลายคลอรีนจะถูกปล่อยออกมาเพื่อผสมกับน้ำที่ถูกสูบมาจากบ่อพักแล้วนำไปใช้ในการล้างฆ่าเชื้อในสะพานปลา โดยใช้สายยางหัวฉีดแรงดันสูงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 cm ฉีดสารละลายคลอรีนลงบนพื้นผิวของตลาดประมาณ 30 นาที จากนั้นปล่อยให้แห้งเอง ผลการตรวจปริมาณและความเข้มข้นของสารละลายคลอรีน พบว่า ปริมาณน้ำคลอรีนที่ใช้ประมาณ 13 m^3/วัน และความเข้มข้นของสารละลายคลอรีนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อมีความเข้มข้นคลอรีนอิสระที่ 4.43 mg/L (แสดงในตารางที่ 3) ทั้งนี้ความเข้มข้นของคลอรีนที่ใช้ไม่ได้เป็นไปตามคำแนะนำของกระทรวงสาธารณสุขที่กำหนดให้ใช้คลอรีนที่ความเข้มข้น 100 mg/L [9]

ตารางที่ 3 ปริมาณและความเข้มข้นของสารละลายคลอรีน

ดัชนี	ค่าเฉลี่ย ± SD
ปริมาณสารละลายคลอรีน (m^3/day)	13.00 ± 0.75
Free residual chlorine (mg/L)	4.43 ± 2.73
Combined residual chlorine (mg/L)	0.87 ± 0.60
Total residual chlorine (mg/L)	5.31 ± 3.27

3. คุณลักษณะของน้ำเสีย

คุณลักษณะของน้ำเสีย พบว่า มีค่าความสกปรกของน้ำเสียสูงทั้งก่อนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน (SW1) และหลังการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน (SW2) โดยมีค่าแสดงในตารางที่ 4 ทั้งนี้ค่า BOD และ SS สูงเกินกว่าค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากท่าเทียบเรือประมง สะพานปลา และแพปลา [4] ในขณะที่ค่า pH, TKN และ oil and grease มีค่าตามมาตรฐานฯ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Leawtrakul [28] ที่ศึกษาคุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดท่าเทียบเรือประมงภูเก็ต พบว่า มีค่าสารอินทรีย์ในน้ำสูง โดยมีค่า BOD และ TKN เท่ากับ 912 และ 323 mg/L นอกจากนี้คุณภาพของน้ำเสียจะแปรผันไปตามชนิดและปริมาณสัตว์น้ำ [2] โดยวันที่มีปริมาณสัตว์น้ำจำนวนมากจะส่งผลให้น้ำเสียมีค่าสารอินทรีย์สูงกว่าวันที่ปริมาณสัตว์น้ำน้อย รวมทั้งสถานที่และเวลาเก็บตัวอย่างก็มีผลต่อคุณลักษณะของน้ำเสียเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่เปิดทำการ (ระหว่างกลางคืนถึงเช้า) จะมีค่าสารอินทรีย์สูงกว่าช่วงปิดทำการ [29]

ตารางที่ 4 คุณลักษณะของน้ำเสียจากสะพานปลา “ตลาดปลาสหกรณ์ประมงแม่กลอง” ก่อนและหลังฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน

ดัชนี	ค่ามาตรฐาน[1]	SW1 ค่าเฉลี่ย ± SD	SW2 ค่าเฉลี่ย ± SD	p-value
pH	5.0-9.0	6.93 ± 0.18	7.13 ± 0.35	0.048*
Temp (°C)		34.27 ± 1.24	34.30 ± 0.31	0.857
EC (mS/cm)		21.43 ± 0.73	20.93 ± 1.04	0.024*
Salinity (g/L)		13.02 ± 0.44	12.68 ± 0.71	0.024*
COD (mg/L)		1,042.90 ± 165.42	1,269.10 ± 250.68	0.021*
BOD (mg/L)	200	534.44 ± 140.17	376.11 ± 151.28	0.008*
TDS (mg/L)		14,372.00 ± 471.65	14,627.00 ± 592.54	0.007*
SS (mg/L)	200	557.75 ± 193.03	563.52 ± 76.63	0.767
Oil and grease (mg/L)	20	0 (0-7.5)**	0 (0-10)**	0.917
TKN (mg/L)	250	116.48 ± 21.14	79.86 ± 19.93	0.028*
Free residual chlorine (mg/L)		nd	nd	
Combined residual chlorine (mg/L)		nd	nd	
Total residual chlorine (mg/L)		nd	nd	
Total Coliform (log_{10}MPN/100 mL)		4.28 ± 0.16	4.35 ± 0.39	0.678
Fecal Coliform (log_{10}MPN/100 mL)		3.45 ± 0.24	3.29 ± 0.13	0.075
Aerobic bacteria (log_{10}cfu/1 mL)		5.29 ± 1.10	5.15 ± 0.56	0.906
Anaerobic bacteria (log_{10}cfu/1 mL)		1.07 ± 0.03	1.06 ± 0.04	0.733

[1] ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากท่าเทียบเรือประมง สะพานปลา และแพปลา [4]

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

**ใช้ค่า ค่ามัธยฐาน (ช่วงพิสัย) แทน ค่าเฉลี่ย ± SD เนื่องจาก ค่า SD สูงเกินกว่าค่าเฉลี่ย

จากการศึกษา พบว่า ค่า pH ในน้ำเสียของ SW2 แตกต่างจาก SW1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากคลอรีนผงหรือแคลเซียมไฮโปคลอไรท์เมื่อละลายน้ำจะทำให้เกิด OH^- ส่งผลให้ค่า pH ของน้ำสูงขึ้น ซึ่งแตกต่างจากการใช้คลอรีนชนิดอื่นที่จะทำให้ค่า pH ของน้ำลดลง [30]

สำหรับค่าความเค็ม พบว่า SW1 และ SW2 มีค่าความเค็มสูงถึง 13.02 และ 12.68 mg/L ตามลำดับ เนื่องจากน้ำที่ใช้ในสะพานปลาเป็นน้ำกร่อย อีกทั้งค่าความเค็มยังสามารถลดการย่อยสลายของ nitrification และ denitrification เพราะความเค็มทำให้จุลินทรีย์เกิด plasmolysis ส่งผลต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ [2] ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัด COD, NH_4-N และ PO_4P ในน้ำเสีย [29, 31] แต่หากใช้จุลินทรีย์ที่ทนเค็มก็จะไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียที่มีความเค็ม [32] และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติ พบว่า SW1 และ SW 2 มีค่าความเค็มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากสัตว์น้ำที่จับได้จะถูกแช่ในน้ำแข็งผสมน้ำทะเลเพื่อเก็บรักษาสัตว์น้ำใน

เรือประมง [33] และเมื่อมีการละลายน้ำแข็งและล้างทำความสะอาดสัตว์น้ำบนสะพานปลาจะทำให้น้ำเสียมีค่าความเค็มสูง แต่เมื่อหลังจากฆ่าเชื้อด้วยสารละลายคลอรีนพบว่ามีค่าความเค็มลดลง ซึ่งอาจเกิดจากค่าความเค็มจะถูกเจือจางด้วยสารละลายคลอรีน สอดคล้องกับค่า EC ในน้ำเสียของ SW1 ที่สูงกว่า SW2 โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากค่าความเค็มในน้ำเสียลดลงส่งผลให้ค่า EC ลดลงตามไปด้วย

ค่า COD ของ SW1 แตกต่างจาก SW2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากคลอไรด์ไอออน (Cl^-) จากกระบวนการคลอริเนชั่นจะไปรบกวนการตรวจวิเคราะห์ COD ซึ่งเป็นสาเหตุให้ค่า COD สูงขึ้น [34-36] รวมทั้งคลอรีนเป็นสารออกซิไดส์ที่สามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ในน้ำเสียได้สาร disinfection by-products (DBPs) หรือสารไตรฮาโลมีเทน (THMs) และสารฮาโลอะซิติกเอซิด (HAAs) [37-39] จะทำให้ค่า COD ที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย [14]

ค่า BOD ของ SW1 แตกต่างจาก SW2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากคลอรีนสามารถลดค่า BOD โดยเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับสารประกอบอินทรีย์ในน้ำเสีย [40] และอาจเกิดจากหลังจากการล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ ทำให้พื้นสะพานปลาไม่สกปรก ส่งผลให้หลังจากฆ่าเชื้อโรคด้วยสารละลายคลอรีนแล้วทำให้ค่า BOD ลดลง

ค่า TDS ของ SW1 แตกต่างจาก SW2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยพบว่าหลังจากฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนแล้วค่า TDS ในน้ำเสียจะสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของคลอรีนต่อสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ทำให้เกิดสารประกอบไตรฮาโลมีเทนและสารฮาโลอะซิติกเอซิด รวมทั้งเกิดจาก Cl^- ในสารละลายคลอรีนทำให้น้ำเสียมีค่า TDS สูงขึ้น [39] ในขณะที่ค่า SS ของ SW1 และ SW2 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Pant และ Mittal ที่พบว่า ค่า SS จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังจากเติมคลอรีนลงไปในระบบบำบัดน้ำเสีย [41]

ค่า TKN ของ SW2 น้อยกว่า SW1 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แม้ว่าคลอรีนจะสามารถทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียในน้ำเสียได้คลอรีนรวมพร้อมใช้ [42-43] แต่จากการศึกษาในครั้งนี้ไม่พบคลอรีนอิสระและคลอรีนรวมพร้อมใช้คงเหลือหลังจากที่มีการใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อบนพื้นของสะพานปลา เนื่องจากสารละลายคลอรีนที่ใช้มีความเข้มข้นน้อย โดยคลอรีนจะทำปฏิกิริยากับ Fe^{2+}, Mn^{2+}, HS^- และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ ในน้ำเสียอย่างรวดเร็ว [44] จึงไม่มีคลอรีนคงเหลืออยู่ในน้ำเสียทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียในน้ำเสีย ซึ่งสาเหตุหลักของการลดลงของค่า TKN เป็นเพราะสารแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียถูกเจือจางลงหลังจากที่มีการฆ่าเชื้อบนพื้นสะพานปลา

ค่า BOD และ TKN ในน้ำเสียหลังจากฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนมีแนวโน้มลดลงซึ่งจะเป็นผลดี ในขณะที่ค่า COD และ TDS ในน้ำเสียสูงขึ้น ซึ่งเป็นแนวโน้มที่ไม่ดี ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาการใช้คลอรีนทั้งความเข้มข้นและปริมาณของสารละลายคลอรีนที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อโรคในสะพานปลาต่อไป เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการฆ่าเชื้อโรค โดยไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย

คุณภาพน้ำทางด้านชีวภาพ พบว่า ปริมาณเชื้อ Total Coliform, Fecal Coliform, Aerobic bacteria และ Anaerobic bacteria ทั้งก่อนและหลังฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนบนพื้นสะพานปลาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เพราะน้ำมีความสกปรกสูงทำให้คลอรีนไปทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำจนไม่มีคลอรีนอิสระและคลอรีนรวมพร้อมใช้คงเหลือที่จะไปทำลายเชื้อจุลินทรีย์อยู่ในน้ำเสีย

สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sangsuriya [45] ที่ทำการศึกษาปริมาณคลอรีนที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำทิ้งจากโรงบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลทรวงอก พบว่า ในทุกระดับความเข้มข้นของเชื้อ Total Coliform และ Fecal Coliform ที่มีปริมาณความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นต่ำ จะไม่มีปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลืออยู่เลย เนื่องจากช่วงแรกต้องใช้คลอรีนในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำจนหมด ดังนั้นจึงไม่พบปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ และพบว่ามีประสิทธิภาพการทำลายเชื้อ Total Coliform และ Fecal Coliform เท่ากับ 0 ทั้งนี้การที่มีเชื้อจุลินทรีย์อยู่ในน้ำเสียจะเป็นผลดีต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียเมื่อนำน้ำไปบำบัดต่อ

สรุป

คุณภาพน้ำที่ใช้ในสะพานปลามีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภคที่กำหนดให้ใช้ในสะพานปลา จึงควรมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ได้ตามมาตรฐานก่อนนำไปใช้ สำหรับการฆ่าเชื้อโรคในสะพานปลา มีการใช้สารละลายคลอรีนประมาณ 13 m^3/วัน และมีความเข้มข้นคลอรีนอิสระประมาณ 4.43 mg/L ซึ่งต่ำกว่าความเข้มข้นคลอรีนที่กระทรวงสาธารณสุขแนะนำให้ใช้ที่ 100 mg/L ดังนั้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องมีการอบรมให้ความรู้ในการใช้คลอรีนฆ่าเชื้อที่เหมาะสมทั้งการเตรียมสารคลอรีน ปริมาณสารละลายคลอรีน วิธีการฆ่าเชื้อ และการป้องกันอันตรายจากการใช้คลอรีนให้กับคนงานในสะพานปลา สำหรับคุณลักษณะของน้ำเสียจากสะพานปลาทั้งก่อนและหลังฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนมีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากท่าเทียบเรือประมง สะพานปลา และแพปลา จึงควรมีการบำบัดน้ำเสียก่อนจะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ จากการศึกษา พบว่า ก่อนและหลังฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนในสะพานมีค่า pH EC salinity COD BOD TKN และ TDS แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าค่า BOD และ TKN ในน้ำเสียลดลงหลังจากฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน รวมทั้งยังตรวจไม่พบคลอรีนคงเหลืออยู่ในน้ำเสียหลังจากฆ่าเชื้อโรคในสะพานปลา เนื่องจากคลอรีนที่ใช้มีความเข้มข้นต่ำและยังไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ ในน้ำเสียอย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่มีคลอรีนคงเหลือที่จะไปฆ่าจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียได้ ซึ่งจะเป็นผลดีของการนำน้ำไปบำบัดต่อไป

อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษายังไม่สามารถระบุถึงผลกระทบของการใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคต่อคุณลักษณะของน้ำเสียได้อย่างชัดเจน เนื่องจากไม่มีการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายคลอรีนให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาการใช้คลอรีน ทั้งความเข้มข้นและปริมาณของสารละลายคลอรีนที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อโรคในสะพานปลาต่อไปเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการฆ่าเชื้อโรคโดยไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย และทำการศึกษาผลกระทบของคลอรีนการฆ่าเชื้อโรคในสะพานต่อคุณภาพของน้ำเสีย โดยใช้ค่าความเข้มข้นคลอรีนตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ในการฆ่าเชื้อโรคบนพื้นผิว รวมทั้งควรเพิ่มจำนวนตัวอย่างน้ำเสียให้เพียงพอและเหมาะสมต่อการศึกษาวิจัยในครั้งต่อไปด้วย

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากโครงการวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี และคณะผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของสะพานปลา “ตลาดปลาสหกรณ์ประมงแม่กลอง” จังหวัดสมุทรสงคราม

เอกสารอ้างอิง

1. Katmateekaroon, K. 2003. Development of EGSB-biofilter System for Treatment of Fish Pier Wastewater. (Master’s Thesis). Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand. (in Thai)
2. Kim, S. J., Rene, E. R., Lee, S. Y., Lee, D. H., and Park, H. S. 2006. Operation of Sequential Batch Reactor for Treatment of Fish Market Cleaning Wastewater. *Chemical Engineering World.* 70-74.
3. Zeinaddin, H. R., Ebrahimi, A., Alipour, V., and Rezaei, L. 2013. Removal of Nitrogen and Phosphorous from Wastewater of Seafood Market by Intermittent Cycle Extended Aeration System (ICEAS). *Journal of Health Sciences and Surveillance System.* 1(2): 89-93.
4. Fishing Piers and Fish Market and Management Guideline. Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment, Thailand. 2004.
5. Park, H., Hung, Y. C., and Chung, D. 2004. Effects of Chlorine and pH on Efficacy of Electrolyzed Water for Inactivating Escherichia coli O157:H7 and *Listeria monocytogenes. International Journal of Food Microbiology.* 91: 13-18.
6. Jayasinghe, P. S., and Rajakaruna, R. M. A. G. G. 2005. Bacterial Contamination of Fish Sold in Fish Markets in the Central Province of Sri Lanka. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka.* 33 (3): 219-221.
7. Sudheesh, P. S., Al-Ghabshi, A., Al-Aboudi, N., Al-Gharabi, S., and Al-Khadhuri, H. 2013. Evaluation of Food Contact Floor Contamination and the Presence of Pathogenic Bacteria in Seafood Retail Outlets in the Sultanate of Oman. *Advance Journal of Food Science and Technology.* 5(2): 77-83.
8. Department of Fisheries. 2008. Good Hygienic Practices for Fish Agent Establishment, Fish Landing Site and Fish Wholesale Market.
9. Bureau of food and water sanitation, Department of health, Thailand. 2012. 7 Steps for Market Cleaning and Sanitation. Available from URL: http://foodsan.anamai.moph.go.th/download/D_market/2012/RollUp/ART21.pdf. 4 September 2016. (in Thai)
10. Haas, C. N. 2011. Chapter 17: Chemical disinfection, In Water Quality & Treatment: A Handbook of Drinking Water. Edzwald, J. K. (ed.) 6th Edition. New York. McGraw-Hill.

11. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2010. Toxicological Profile for Chlorine. Department of Health and Human Services. Atlanta. Georgia. U.S. p. 269.
12. White, G. C. 1999. Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants. 4th Edition, Wiley-Interscience, John Wiley and Sons, Inc. New York, p. 1509.
13. Lalwani, P. K., and Devadasan, M. D. 2013. Reduction of Cod and Bod by Oxidation: A Cetp Case Study. *International Journal of Engineering Research and Applications.* 3(3): 108-112.
14. Takdastan, A., Mehrdadi, N., Azimi, A. A., and Nabi, B. G. 2009. Investigation of Intermittent Chlorination System in Biological Excess Sludge Reduction by Sequencing Batch Reactors. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering.* 6(1): 53-60.
15. Gerardi, M. H. 2006. Wastewater Bacteria. John Wiley and Sons, Inc. New Jersey.
16. Jirapongsathorn, T. 2002. Application of Packed Cage RBC System for Treatment of Chlorine Contaminated Wastewater. (Master's Thesis). King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok. Thailand. (in Thai)
17. Chenyapanich, S. 2000. Efficiency of Sequencing Batch Reactor (SBR) for Treating of Chlorine Contaminated Wastewater from Cool Storage Plants. (Master's Thesis). King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand. (in Thai)
18. Maris, P. 1995. Modes of Action of Disinfectants. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics).* 14(1): 47-55.
19. Knox, W. E., Stumpf, P. K., Green, D. E., and Auerbach, V. H. 1948. The Inhibition of Sulfhydryl Enzymes as the Basis of the Bactericidal Action of Chlorine. *Journal of Bacteriology.* 55(4): 451-458.
20. Wei, C. I., Cook, D. L., and Kirk, J. R. 1985. Use of Chlorine Compounds in the Food Industry. *Food Technology.* 39 (1): 107-115.
21. Lomander, A., Schreuders, P., Russek-Cohen, E., and Ali, L. 2004. Evaluation of Chlorines' Impact on Biofilms on Scratched Stainless Steel Surface. *Bioresource Technology.* 94(3): 275-283.
22. Brungs, W. A. 1973. Effects of Residual Chlorine on Aquatic Life. *Journal Water Pollution Control Federation.* 45(10): 2180-93.
23. Lee, G. F. 2006. Residual Chlorine Impact Management Issues Comments on SWRCB Current Approach for Developing a Residual Chlorine Regulatory Program. Available from URL: http://www.gfredlee.com/SurfaceWQ/ChlorinePolicyIssues.pdf. 10 September 2016.

24. Ministry of Natural Resources and Environment. 2014. Manual of Enforcement of Pollution Control Officers. Available from URL: http://www.reo15.net/2014/index.php?option=com_k2&view=item&task=download&id= 901_17774c4b2086509d87553885ff8e4ac6&Itemid=886&lang=th. 10 September 2016.
25. APHA, AWWA and WPCF. 1995. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 19th Edition. Washington, DC. American Public Health Association.
26. Srimanobhas, K. 1997. Contamination of Bacteria and Pathogen in Fish Market. National Research Council of Thailand. Bangkok. (in Thai)
27. Department of Fisheries. 2012. Good Manufacturing Practices of Fishery Products. Available from URL: http://www.fisheries.go.th/quality/GMP_April2547.pdf. 10 September 2016. (in Thai)
28. Leawtrakul, W. 2008. Development of the Training Program to Prevent and Solve the Waste water Problem of the Fishing Boat Operators at the Phuket Fishing Port. (Master's Thesis). Phuket Rajabhat University. Phuket, Thailand. (in Thai)
29. Jiaranaikajorn, T. 2002. Upflow Filter in Anaerobic Treatment of High Salinity and Nitrogen Wastewater. (Master's Thesis). King Mongkut's University of Technology Thonburi. Bangkok, Thailand. (in Thai)
30. Tuntoolavest, M., and Tuntoolavest, M. 2004. Chemistry of Water and Wastewater. 2nd Edition. Bangkok. Chulalongkorn University Printing House. (in Thai)
31. Uygur, A., and Kargi, F. 2004. Salt Inhibition on Biological Nutrient Removal from Saline Wastewater in a Sequencing Batch Reactor. *Enzyme and Microbial Technology.* 34: 313-318.
32. Hamoda, M. F., and Al-Attar, I. M. S. 1995. Effects of High Sodium Chloride Concentrations on Activated Sludge Treatment. *Water Science and Technology.* 31(9): 61-72.
33. Tanasarnsakorn, S., Taradol, A., Thimkrub, T., and Siriraksophon, S. 2007. Preliminary Report: Experiments on Fish Handling and Preservation Technique for Squid. Available from URL: map.seafdec.org/downloads/pdf/RES-117.pdf. 10 September 2016.
34. Boyles, W. 1997. The Science of Chemical Oxygen Demand Technical Information Series, Booklet No. 9. Hach Company. USA. Available from URL: http://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=7639984471. 4 September 2016.
35. Saral, A., and Goncaloğlu, B. I. 2008. Determination of Real COD in Highly Chlorinated Wastewaters. *Clean-Soil, Air, Water.* 36: 996-1000.
36. Yang, S. Y., Zhang, W. Y., Shan, L., Yang, X., and Wang, P. 2010. Chloride Interference in the Determination of COD of Landfill Leachate. *Huan Jing Ke Xue.* 31(4): 1014-1020.

37. Simmons, J. E., Richardson, S. D., Speth, T. F., Miltner, R. J., Rice, G., Schenck, K. M., Hunter, E. S. and Teuschler, L. K. 2002. Development of a Research Strategy for Integrated Technology-Based Toxicological and Chemical Evaluation of Complex Mixtures of Drinking Water Disinfection Byproducts. *Environmental Health Perspective.* 110: 1013-1024.
38. Krasner, S. W., Weinberg, H. S., Richardson, S. D., Pastor, S. J., Chinn, R., Sclimenti, M. J., Onstad, G. D., and Thruston, A. D. 2006. Occurrence of a New Generation of Disinfection Byproducts. *Environmental. Science and Technology.* 40: 7175-7185.
39. Deborde, M., and Gunten, U. V. 2008. Reactions of Chlorine with Inorganic and Organic Compounds During Water Treatment-Kinetics and Mechanisms: A Critical Review. *Water Research.* 42: 13-51.
40. Susag, R. H. 1968. BOD Reduction by Chlorination. *Research Journal of the Water Pollution Control Federation.* 40(11) Part II: R434-R444.
41. Pant, A., and Mittal, A. K. 2007. Disinfection of Wastewater Comparative Evaluation of Chlorination and DHS-Biotower. *Journal of Environmental Biology* 28(4): 717-722.
42. Jafervt, C. T., and Valentine, R. L. 1992. Reaction Scheme for the Chlorination of Ammoniacal Water. *Environmental Science and Technology.* 26(3): 577-586.
43. Chen, W. F., and Liew, J. Y. R. 2003. The Civil Engineering Handbook. CRC Press, Inc. USA. p. 10-44.
44. Brezonile, P. L., and Arnold, W. A. 2011. Water Chemistry: an Introduction to the Chemistry of Natural and Engineered Aquatic System. Oxford University Press, Inc. New York. USA. p. 482-484.
45. Sangsuriya, N. 1998. Optimum Chlorine Dosage for Disinfecting Effluent from the Central Chest Hospital Wastewater Treatment Plant. (Master's Thesis). Kasetsart University. Bangkok, Thailand. (in Thai)

ได้รับบทความวันที่ 10 ตุลาคม 2559
ยอมรับตีพิมพ์วันที่ 6 มีนาคม 2560